

10-070603

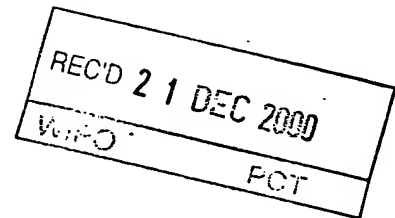
DE 00/03066

EJU



1513
176

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**



Aktenzeichen: 100 19 932.1

Anmeldetag: 20. April 2000

Anmelder/Inhaber: Professor Dr.-Ing. Reinhold Noé,
Paderborn/DE

Bezeichnung: Verfahren und Anordnung für die optische
Informationsübertragung mittels Polarisations-
multiplex

IPC: H 04 B, H 04 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. November 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Waasmare:

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Beschreibung

Verfahren und Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Anordnung dafür nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 20.

10

Polarisationsmultiplex (Polarization Division Multiplex, PolDM) kann zur Erhöhung der Kapazität eines optischen Übertragungssystems verwendet werden.

15

Im Tagungsband der European Conference on Optical Communications 1993, Montreux, Schweiz, S. 401-404, Beitrag WeP9.3 (F. Heismann et al., „Automatic Polarization Demultiplexer for Polarization-Multiplexed Transmission Systems“) ist ein optisches PolDM-Übertragungssystem beschrieben. Ein wesentliches Problem ist die Einregelung eines empfängerseitigen Polarisationsstrahlteilers derart, daß die beiden PolDM-Kanäle auf die beiden Ausgänge eines nachgeschalteten Polarisationsstrahlteilers aufgeteilt werden. Dazu wird ein Korrelations-signal des wiedergewonnenen Taktes mit dem empfangenen Signal gebildet und dieses wird durch Einstellung des Polarisationsstrahlteilers maximiert.

20

Die Vorgehensweise gemäß dem Stand der Technik hat mehrere Nachteile:

30

Zunächst verschwindet das Korrelationsprodukt bei Vorgabe einer reinen, wechsellspannungsgekoppelten Pseudozufallsfolge (eine solche war dort offensichtlich nicht gegeben) im zeitlichen Mittel, was die Regelung schwierig oder unmöglich macht.

35

Zur Unterscheidung der beiden PolDM-Kanäle mußten außerdem verschiedene Bitraten gewählt werden, was in der Praxis nicht gestattet ist. Auch mußten deutlich verschiedene optische

Wellenlängen gewählt werden, was ebenfalls in der Praxis unzulässig ist.

5 Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex anzugeben, welches die Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

10 Diese Aufgabe wird durch ein in Anspruch 1 angegebenes Verfahren gelöst. Im unabhängigen Patentanspruch 20 wird eine geeignete Anordnung angegeben.

15 Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Lösung des Problems liegt in der sendeseitigen Konditionierung (Randomisierung) sowie empfängerseitigen Bestimmung und schließlich Minimierung von Interferenzsignalen zwischen dem gewünschten und dem unerwünschten Multiplexkanal. Diese
20 Interferenzsignale, genauer gesagt, ihre Beträge, werden durch Polarisationsregler minimiert, so daß Nebensprechen bei Polarisationsmultiplex (PolDM) minimiert und gleichzeitig die Nutzsignale wenigstens näherungsweise maximiert werden. Alle genannten Nachteile des Standes der Technik werden dabei vermieden.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Polarisationsmultiplexsignal sendeseitig aus einem Lasersignal erzeugt, welches zunächst auf zwei Signalzweige aufgeteilt wird
30 und dort jeweils getrennt intensitätsmoduliert wird. Diese Signalzweige werden anschließend in einem Polarisationsstrahlteiler mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt. Gleichzeitig wird die Frequenz des Lasers moduliert. Durch
35 eine Laufzeitdifferenz dieser Zweige führt die Frequenzmodulation zu einer differentiellen Phasenmodulation zwischen den Multiplexsignalen.

Empfängerseitig wird das Signal mit einem Koppler auf zwei Empfängerzweige aufgeteilt. In jedem Empfängerzweig folgt eine eingangsseitige Polarisationsregelung, ein Polarisator zur Unterdrückung des jeweils unerwünschten Polarisationsmulti-
5 plexkanals und ein konventioneller Photoempfänger mit je einer Photodiode und schließlich den Photodioden nachgeschalteten elektrischen Datensignalregeneratoren. Mittels je eines Filters werden Signalkomponenten entsprechend der sendeseitigen Frequenz, mit der die Sendefrequenz moduliert wird, de-
10 tektiert. Diese verschwinden nur dann, wenn eines der Multiplexsignale vom Polarisator vollständig unterdrückt wird. Dadurch ergibt sich ein einfaches und gleichzeitig hochwirksames Regelkriterium zur Einstellung des jeweiligen Polarisations-
transformators.

15 In diesem Fall empfängt und regeneriert jeder der Regeneratoren nur einen PolDM-Kanal, was der gewünschten empfängerseitigen Trennung der Signale entspricht.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.
20

Es zeigen

Figur 1 einen PolDM-Sender mit nur einem Laser,
Figur 2 einen PolDM-Sender mit zwei Lasern,
Figur 3 einen erfindungsgemäßen Empfänger,
Figur 4 einen Separator/Detektor,
Figur 5 eine Variante eines Teils der Figur 3,
Figur 6 ein Vektordiagramm linearer Polarisationszustände,
30 Figur 7 eine Ausführungsvariante eines Teils des Separators/Detektors,
Figur 8 eine Ausführungsvariante einer Filtereinheit.

In einer Sendeanordnung gemäß **Figur 1** wird das Ausgangssignal eines Lasers LA durch einen Koppler PMC mit etwa gleichen
35 Leistungen auf zwei Lichtwellenleiter aufgeteilt. Koppler PMC kann z.B. in ein polarisationserhaltender Faserkoppler sein.

Die so gewonnenen Signale werden durch je einen Intensitätsmodulator MO1, MO2 geleitet, wo die Modulationssignale SDD1 bzw. SDD2 aufgeprägt und so die modulierten Signale OS1, OS2 geschaffen werden. Diese werden durch einen Polarisationsstrahlteiler PBSS mit orthogonalen Polarisationen kombiniert. Statt des sendeseitigen Polarisationsstrahlteilers PBSS kann auch ein einfacher optischer Richtkoppler verwendet werden, was allerdings zu einem Leistungsverlust und schlechter definierter Orthogonalität der Signale OS1, OS2 führt.

Für die Verbindungen zwischen den Modulatoren MO1, MO2 und dem Polarisationsstrahlteiler PBSS müssen z.B. ebenfalls polarisationserhaltende Lichtwellenleiter vorgesehen werden, von denen einer um 90° tordiert ist, oder es ist in einer dieser Verbindungen ein Modenwandler vorgesehen.

Um die gewünschte Kohärenz der Signale OS1, OS2 nach der Kombination zu erzielen, muß eine differentielle Phasenmodulation DPM zwischen diesen beiden Teilsignalen vorhanden sein. Dies kann durch einen oder zwei Phasenmodulatoren oder Frequenzverschieber PHMO1, PHMO2 oder einen entsprechenden differentiellen (d.h. zwischen den orthogonal zueinander polarisierten Wellen OS1, OS2 wirksamen) Phasenmodulator oder Frequenzverschieber PHMO12 erfolgen. Im Fall von Frequenzverschiebung ist im Ausgangslichtwellenleiter eine Frequenzdifferenz FD vorhanden. Frequenzverschieber, auch differentiell, können insbesondere akustooptisch oder elektrooptisch arbeiten. Ggf. notwendige optische und/oder elektrische Verstärker sind hier und in den folgende Figuren der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

In einem anderen, besonders einfachen und deshalb vorteilhaften Ausführungsbeispiel des PolDM-Senders wird der Laser LA mit einer Frequenzmodulation FM beaufschlagt. Beispielsweise wirkt sich eine sinusförmige Frequenzmodulation mit einem Hub von 293 MHz kaum auf die Sendebandbreite eines 10Gb/s-Senders aus. Durch einen von Null verschieden gewählten Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1-DT2|$ der optischen Laufzeiten DT1, DT2 der durch die Modulatoren MO1, MO2 laufenden Teilsignale zwischen Strahlteiler PMC und Polarisationsstrahlteiler PBSS wird die

Frequenzmodulation in eine differentielle Phasenmodulation DPM der Teilsignale OS1, OS2 hinter PBSS umgewandelt. Wie die Frequenzmodulation FM besitzt sie ein Besselspektrum, jedoch ein anderes. Im Fall eines Laufzeitdifferenzbetrags $|DT1-DT2|$ der Größe 1 ns (entsprechend etwa 0,2 m Lichtwellenleiter-Längendifferenz) ergibt sich in diesem Beispiel eine sinusförmige differentielle Phasenmodulation DPM mit einem Modulationshub von 1,84. Bei diesem Modulationshub besitzt die Besselfunktion erster Art erster Ordnung (J_1) ein Maximum.

Im einfachsten Fall kann man sogar auf die externe Frequenzmodulation FM verzichten und stattdessen die natürlichen Frequenzschwankungen des Lasers LA, seine Linienbreite, ausnutzen. Auch diese Frequenzschwankungen führen über die Laufzeitdifferenz $|DT1-DT2|$ zu differentieller Phasenmodulation zwischen OS1, OS2.

Desweiteren ist eine differentielle Phasenmodulation DPM zwischen OS1 und OS2 auch dann vorhanden, wenn - alternativ zu Figur 1 - eine Sendeanordnung gemäß **Figur 2** mit zwei Sendern TX1, TX2 verwendet wird, welche orthogonal polarisierte optische Signale OS1, OS2 aussenden, die in einem sendeseitigen Polarisationsstrahlteiler PBSS kombiniert werden. Die optischen Sender werden mit Datensignalen SDD1 für den Sender TX1, und SDD2 für den Sender TX2 moduliert. Da die Differenzfrequenz FD zwischen zwei verschiedenen Lasern, welche in TX1, TX2 vorhanden sind, aber i.a. ohne besondere Maßnahmen nicht im MHz- oder gar Sub-MHz-Bereich stabil bleibt, ist die Ausführung gemäß Figur 2 weniger zu empfehlen als die nach Figur 1.

Ziel der Sendeanordnungen gemäß Figur 1 und Figur 2 ist jeweils die Randomisierung des Interferenzphasenwinkels; d.h. beispielsweise können im Fall vorhandener Frequenzdifferenz FD die cos- und die sin-Funktion der Phasendifferenz DPM zwischen OS1 und OS2 jeweils den Mittelwert Null besitzen.

Figur 2 zeigt auch den prinzipiellen Aufbau eines Übertragungssystems mit Polarisationsmultiplex (PolDM). Nach Zusammenführen der Signale OS1, OS2 durch PBSS können die Signale anschließend über einen Lichtwellenleiter LWL zu einem Empfänger RX mit einem Eingang EI übertragen werden. Da der Lichtwellenleiter i.a. nicht polarisationserhaltend ist, ergibt sich die Schwierigkeit, die beiden Signale OS1, OS2 wieder zu trennen.

Gemäß Figur 3 besteht der Empfänger RX hier aus einem Separator/Detektor SD und nachgeschalteter Empfängerelektronik. Der Empfänger RX seinerseits aus zwei Empfängern RX1, RX2, die jedoch erfindungsgemäß durch weitere Baugruppen ergänzt werden.

Ein Separator/Detektor SD für PolDM ist in Figur 4 gezeichnet. Das empfangene optische Signal wird vom Eingang EI einem endlosen Polarisationsstransformator PT zugeleitet, welcher Steuersignale ST1, ST2 empfängt. Sowohl ST1 als auch ST2 können eines oder mehrere Signale darstellen. An seinem Ausgang ist ein Polarisationsstrahlteiler PBS angebracht, welcher orthogonal polarisierte Signalanteile an seinen Ausgängen OUT1, OUT2 zur Verfügung stellt. Die Ausgangssignale OUT1, OUT2 sollen im Idealfall die orthogonal polarisierten Signale OS1 bzw. OS2 sein; sie tun dies jedoch nur bei geeigneter Einstellung von PT und eines ggf. vorgeschalteten Kompensators von Polarisationsmodendispersion PMDC. Die Signale OUT1, OUT2 werden in Photodioden PD11, PD21 detektiert, welche elektrische detektierte Signale ED1, ED2 erzeugen.

Da PolDM ein mehrstufiges Modulationsverfahren ist, reagiert es empfindlich auf Einflüsse wie Polarisationsmodendispersion (PMD). In solchen Fällen kann es zweckmäßig sein, einen PMD-Kompensator PMDC wie z.B. in den deutschen Patenanmeldungen 19841755.1 und 19830990.2 beschrieben vor dem Polarisationsstransformator PT vorzusehen. In Figur 4 ist mit dem Eingang EI der Empfangseinrichtung RX ein stilisierter Lithiumniobat-

chip SUB verbunden, welcher PMD-Kompensator PMDC, Polarisations-
transformator PT und Polarisationsstrahlteiler PBS inte-
griert. Koppler KPMDC muß nicht vorhanden sein; in diesem
Fall ist PMDC direkt mit PT verbunden. Statt des integrierten
5 Aufbaus könnten beispielsweise auch der PMD-Kompensator PMDC
weggelassen und Polarisationstransformator PT und Polarisati-
onsstrahlteiler PBS wie im Tagungsband der European Confe-
rence on Optical Communications 1993, Montreux, Schweiz, S.
401-404, Beitrag WeP9.3 beschrieben aufgebaut werden. Auch
10 Ausführungsformen gemäß denen in den deutschen Patentanmel-
dungen 19858148.3, 19919576.5 sind möglich.

Die elektrisch detektierten Signale ED1, ED2 werden Entschei-
dern D1, D2 zugeleitet, welche auch die normalerweise erfor-
15 derliche Taktrückgewinnung beinhalten und Datenausgangssigna-
le DD1, DD2 ausgeben, welche im Idealfall logisch identisch
sind mit den sendeseitigen Modulationssignalen SDD1 bzw.
SDD2. Auch Spezialschaltungen entsprechend International J.
of High Speed Electronics and Systems, Band 9, 1998, No. 2
20 (H.-M. Rein, „Si and SiGe bipolar ICs for 10 to 40 Gb/s opti-
cal-fiber TDM links“) können eingesetzt werden.

Die Signale ED1, ED2 werden auch Filtern LED1 bzw. LED2 zuge-
leitet. Um den Aufwand gering zu halten, kann man z.B. den
25 Strom an derjenigen Elektrode einer Photodiode messen, an der
das Datensignal nicht abgenommen wird. Das hat den Vorteil,
daß das Datensignal nicht verfälscht wird, und daß durch die
an der anderen Elektrode der Photodiode vorhandene kapazitive
Abblockung gegen Masse bereits wenigstens teilweise die ge-
30 wünschte Filterung vorgenommen wird.

Filter LED1, LED2, LED12 selektieren bevorzugt Frequenzantei-
le, bei denen die durch die spezielle Ausprägung der Sende-
vorrichtung gemäß Figuren 1 oder 2 Interferenzerscheinungen
zwischen den Signalen OS1 und OS2 auftreten. Im Fall einer
35 Frequenzmodulation FM ist dies die Modulationsfrequenz (i.a.
nicht identisch mit dem Frequenzmodulationshub) MO von bei-
spielsweise 1 MHz, aber auch andere Modulationsfrequenzen im

- Bereich von ca. 10 Hz bis 1 GHz sind zumindest prinzipiell geeignet. Es können auch Vielfache $n \cdot MO$ (n ganzzahlig) der Modulationsfrequenz alleine oder zusammen mit ihr ausgewertet werden. Filter LED1, LED2 werden bevorzugt als Bandpaßfilter ausgelegt. Die Auslegung als Tiefpaßfilter mit Durchleitung des Gleichanteils ist ebenfalls möglich, wegen der großen Schwankungen ebendieser Gleichanteile aber i.d.R. nicht nützlich.
- Die Ausgangssignale der Filter LED1, LED2 werden Effektivwert- oder Leistungsdetektoren DET1 bzw. DET2 zugeleitet. Statt Effektivwert- oder Leistungsdetektoren können ggf. auch Spitzenwertdetektoren und ähnliche Einrichtungen verwendet werden. In der Regel ist anschließend an Detektoren DET1, DET2 eine Tiefpaßfilterung mit Filtern LPF1 bzw. LPF2 notwendig. Die in diesen oder bereits in tiefpaßfilternden Detektoren DET1, DET2 konditionierten Signale L1, L2 werden Reglern RG1, RG2 zugeleitet, deren Ausgangssignale ST1, ST2 im Separator/Detektor SD den Polarisationstransformator PT ansteuert. Die Regler RG1, RG2 sind so ausgelegt, daß die Signale L1, L2 minimale Beträge annehmen, d.h., minimale Interferenzerscheinungen zwischen OS1 und OS2 anzeigen. Damit ist optimale Empfängerfunktion gewährleistet.
- Der erfindungsgemäße, bereits beschriebene Block DR des Empfängers RX kann in Fällen, in denen ein Separator/Detektor mit Polarisationsregler PT und anschließendem Polarisationsstrahlteiler PBS - wie in Figur 4 dargestellt - ausgeführt ist, vereinfacht werden. Da Interferenzerscheinungen dann in beiden Empfängerzweigen stets entgegengesetzt sind (gleiche elektrische Signalpolaritäten der Empfängerzweige vorausgesetzt), wird in **Figur 5** für solche Fälle in einem Subtrahierer SUBED12 die Differenz zwischen den Signalen ED1, ED2 ermittelt und diese einem wie DET1, DET2 aufgebauten Detektor DET12 zugeleitet. Es folgt ein wie LPF1, LPF2 aufgebautes Tiefpaßfilter LPF12 und ein Regler RG, welcher Stellsignale ST1, ST2 erzeugt. ER ist so ausgelegt, daß Signal L12 mini-

miert wird. Prinzipiell wäre ein einziges Tiefpaßfilter LED12 ausreichend; da breitbandige Subtrahierer SUBED12 jedoch aufwendig sind, ist es i.d.R. günstiger, an den Eingängen eines entsprechend schmalbandigeren Subtrahierers SUBED12 zunächst
5 Filter LED1 bzw. LED2 vorzusehen und ggf. an dessen Ausgängen trotzdem ein weiteres, LED12, welches kaskadiert mit LED1 bzw. LED2 die gewünschte spektrale Formung ergibt.

Die Regler RG1, RG2, RG arbeiten bevorzugt nach einem Lock-In-Verfahren und besitzen vorzugsweise Integral- oder Proportional-Integral-Regelglieder.
10

Falls die Frequenzmodulation FM durch - vorzugsweise sinusförmige - Direktmodulation eines Halbleiterlasers erzeugt wird, besitzen die Signale OS1, OS2 neben der gewünschten, durch FM erzeugten differentiellen Phasenmodulation DPM, die einen Hub (Spitzenhub in Radiant) ETA besitze, auch eine unerwünschte Amplitudenmodulation. Diese ist von den empfängerseitig ausgewählten Polarisationszuständen unabhängig und erschwert daher das Einstellen der Polarisationen in PT, PT1, PT2. In solchen Fällen kann es günstig sein, Vielfache $n \cdot OM$ ($n = 2, 3, 4, \dots$) der Modulationsfrequenz OM auszuwerten.
15
20

Die Amplituden empfängerseitig detektierter gerader ($n = 0, 2, 4, \dots$) und ungerader ($n = 1, 3, 5, \dots$) Vielfacher $n \cdot OM$ der Modulationsfrequenz OM sind proportional zu \cos bzw. \sin eines statischen Differenzwinkels EPS, der empfindlich vom Laufzeitdifferenzbetrag $|DT1 - DT2|$ abhängt. Dies erschwert die Interferenzdetektion; insbesondere könnte, falls dieser Winkel gleich Null ist, die Polarisationsjustage unmöglich werden.
30

Erfindungsgemäß ist es aber möglich, mindestens ein gerades und gleichzeitig mindestens ein ungerades Vielfaches der Modulationsfrequenz OM auszuwerten. Bei geeigneter Auslegung des oder der Filter LED1, LED2, LED12 ist die jeweilige Filterausgangsleistung und ist/sind daher auch die Signale L1,
35

L2, L12 proportional zu $\cos^2(\text{EPS}) + \sin^2(\text{EPS}) = 1$, also unabhängig von EPS. Es sei LOMn ein Leistungsübertragungsfaktor bei der Frequenz $n \cdot \text{OM}$. In einem ersten solchen Beispiel werden Modulationsfrequenz OM, entsprechend Bessellinie J1 ($J_n =$
5 Besselfunktion erster Gattung, n-ter Ordnung), und doppelte Modulationsfrequenz $2 \cdot \text{OM}$, entsprechend Bessellinie J2, durch Bandpaßfilter LED1, LED2, LED12 geführt, und die Detektoren DET1, DET2, DET12 sind Leistungsdetektoren oder Effektivwertdetektoren. Es wird $\text{LOM1} \cdot J_1(\text{ETA})^2 = \text{LOM2} \cdot J_2(\text{ETA})^2$ eingestellt, was z.B. durch $|J_1(\text{ETA})| = |J_2(\text{ETA})|$ mittels $\text{ETA} =$
10 2,63 sowie $\text{LOM1} = \text{LOM2}$ wenigstens näherungsweise erreicht wird. Das dieser Auslegung zugrundeliegende erfinderische Prinzip ist, daß die detektierten - oder im Fall frequenzunabhängiger Detektion bereits die detektierbaren - Leistungen PEVEN,
15 PODD, welche man durch Detektion nur der geradzahligen bzw. nur der ungeradzahligen Vielfachen von OM im Ausgangssignal L1, L2, L12 mißt, eine von EPS unabhängige Summe $\text{PEVEN} + \text{PODD}$ und übrigens auch dieselben Erwartungswerte besitzen. Es folgen weitere Ausführungsbeispiele entsprechend diesem Prinzip:

20 Es ist möglich, daß Modulationshub ETA im Laufe der Zeit Schwankungen unterworfen ist, z.B. durch Laseralterung. Um die Detektion dennoch in erster Näherung unabhängig von Differenzwinkel EPS halten zu können, dürfen Signale L1, L2, L12 in erster Näherung nicht von ETA abhängen. Dies erzielt man beispielsweise durch Bandpaßfilter LED1, LED2, LED12, welche jeweils die Modulationsfrequenz OM, ihr Doppeltes $2 \cdot \text{OM}$ und ihr Dreifaches $3 \cdot \text{OM}$ passieren lassen. Die dabei erforderlichen Werte der Leistungsübertragungsfunktionen sind wenigstens näherungsweise $\text{LOM1} = 0,72852 \cdot \text{LOM2}$ und $\text{LOM3} = 1,6036 \cdot \text{LOM2}$,
30 und es wird wenigstens näherungsweise $\text{ETA} = 3.0542$ gewählt. Wie oben erwähnt, kann die Detektion bei OM Probleme bringen, so daß es günstiger sein kann, stattdessen bei $2 \cdot \text{OM}$, $3 \cdot \text{OM}$, $4 \cdot \text{OM}$ zu detektieren. Die dabei erforderlichen Werte der Leistungsübertragungsfunktionen sind wenigstens näherungsweise
35 $\text{LOM2} = 0,64066 \cdot \text{LOM3}$ und $\text{LOM4} = 1,3205 \cdot \text{LOM3}$, und es wird wenigstens näherungsweise $\text{ETA} = 4,2011$ gewählt. Die nicht genannten

Leistungsübertragungsfaktoren, im jetzigen Beispiel also LOM0, LOM1, LOM5, LOM6, LOM7, ... für Frequenzen 0, OM, 5*OM, 6*OM, 7*OM, ..., seien jeweils wenigstens näherungsweise gleich Null.

5

Der Entwurf solcher Bandpaßfilter kann schwierig sein.

Selbstverständlich ist es möglich, stattdessen mehrere oder einzelne Bandpaßfilter LEDOMn für $n \cdot OM$ vorzusehen, da die Spektrallinien des Besselspektrums mathematisch orthogonal

10

sind, so daß sich ihre Einzelleistungen direkt addieren lassen, ohne Kreuzleistungsterme. Die se besitzen jeweils einen angeschlossenen Leistungsdetektor DETOMn. **Figur 8** zeigt entsprechende alternative Ausführungsformen einer Filtereinheit FE1, FE2, FE12 der Figuren 3 oder 5. Hier gilt entsprechend

15

dem letzten Ausführungsbeispiel $n = 2, 3, 4$, aber anderes ausgewählte n sind ebenfalls möglich. Die alternativ durch **Figur 8** implementierte Filtereinheit FE12 kann auch die Subtrahiereinheit SE enthalten, wobei sich lineare Funktionsblöcke gemäß Kommutativ- und Distributivgesetz verschieben oder auf-

20

teilen lassen. Die Leistungsübertragungsfaktoren LOMn ergeben sich jeweils durch Multiplikation des Leistungsübertragungsfaktors eines Filters LEDOMn mit dem eines Gewichts Gn, welches Teil des dazugehörigen Leistungsdetektors DETOMn ist oder jenem nachgeschaltet. Die nach der Gewichtung durch Gn erhaltenen Signale werden in einem Addierer ADD addiert. Am Ausgang des Tiefpaßfilters LPF1, LPF2, LPF12 ergibt sich das gewünschte Ausgangssignal L1, L2 oder L12, welches wiederum erfindungsgemäß von EPS und in erster Näherung von ETA unabhängig ist. Tiefpaßfilter LPF1, LPF2, LPF12 kann auch ganz oder teilweise in ADD und/oder Gn und/oder DETOMn implementiert sein oder weggelassen werden.

30

Detektion und Addition können auch vertauscht werden. In diesem Fall sind in **Figur 8** die Detektoren DETOMn und ggf. Gewichte Gn durch Durchverbindungen zu ersetzen, während hinter dem Addierer ADD ein (in **Figur 8** bisher nicht benötigter und deshalb bisher durch eine Durchverbindung zu ersetzender) De-

35

tektor DET1, DET2, DET12; welcher ein Leistungs- oder Effektivwertdetektor ist, vorgesehen wird.

Zusätzliche Signale und Regler können wie in den Proc. 9th
5 European Conference on Integrated Optics (ECIO'99), April 14-16, 1999, Turin, Italien, postdeadline-paper-Band, S. 17-19 (D. Sandel et al., "Integrated-optical polarization mode dispersion compensation for 6-ps, 40-Gb/s pulses") beschrieben zur Regelung des PMD-Kompensators PMDC eingesetzt werden. Der
10 Polarisationsstransformator PT ist prinzipiell ebenso aufgebaut wie der PMD-Kompensator PMDC, welcher in der gerade genannten Literaturstelle näher beschrieben ist und einfach die Kaskade mehrerer Modenwandler als Polarisationsstransformatoren darstellt. Die Steuersignale des Reglers RG werden dem
15 Polarisationsstransformator PT zugeführt.

Durch sendeseitiges nichtideales Multiplex im sendeseitigen Polarisationsstrahlteiler PBSS, oder durch polarisationsabhängige Dämpfung oder Verstärkung im Lichtwellenleiter LWL
20 kann es zu reduzierter Orthogonalität der empfangenen optischen Signale OS1, OS2 kommen. Gemäß **Figur 6** und **Figur 7** ist es in solchen Fällen günstig, nach Durchlaufen eines Leistungsteilers TE je einen Polarisationsstransformator PT1, PT2 mit ggf. vorgeschaltetem PMD-Kompensator PMDC1, PMDC2 und
5 nachgeschaltetem Polarisationsstrahlteiler oder Polarisator PBS1, PBS2 einzusetzen. Die Komponenten PMDC, KPMDC seien zunächst nicht vorhanden und durch Durchverbindungen ersetzt, so daß EI direkt mit TE verbunden ist. Für den Fall linearer
30 Polarisationen sind die durch das Ausführungsbeispiel der Figur 7 erfindungsgemäß erreichten Polarisationsanpassungen in Figur 6 skizziert. Die empfangenen Signale OS1, OS2 sind nicht orthogonal zueinander polarisiert. Das Signal OUT1, welches durch PBS1 transmittiert wird, ist jedoch orthogonal zu OS2, und OUT2, welches durch PBS2 transmittiert wird, ist
35 orthogonal zu OS1. Daß OS1 nicht identisch mit OUT1 polarisiert ist und OS2 nicht identisch mit OUT2 polarisiert ist, führt zwar zu einem gewissen Signalverlust, der jedoch leicht-

ter zu ertragen ist als ein starkes Nebensprechen, welches sich gemäß dem Stand der Technik dann ergäbe, wenn man OS1 identisch mit OUT1 und OS2 identisch mit OUT2 machte. Damit sich die Einstellungen gemäß Figur 6 ergeben, ist die
5 Ausführung von DR gemäß Figur 5 nicht geeignet, es muß vielmehr die gemäß Figur 3 gewählt werden.

Je nach Art und Weise der Herstellung der differentiellen Phasenmodulation zwischen OS1 und OS2 können DR und insbesondere LED1, LED2, LED12, DET1, DET2, DET12 noch weiter variiert werden. Verzichtet man bei vorhandener Laufzeitdifferenz
10 $|DT1-DT2|$ auf die Frequenzmodulation FM und erzeugt die differentielle Phasenmodulation DPM durch natürliche Frequenzschwankungen des Lasers LA, so sollten LED1, LED2, LED12 so ausgeprägt sein, daß wesentliche Teile des entstehenden, sich
15 i.d.R. über mehrere MHz erstreckenden Interferenzspektrums durchgelassen werden. Verwendet man Frequenzverschieber PHMO1, PHMO2 oder differentielle Frequenzverschieber PHMO12 oder verschiedenfrequente Teilsender TX1, TX2, so sind LED1,
20 LED2, LED12 auf die entstehende Differenzfrequenz zwischen OS1 und OS2 abzustimmen. Sind PHMO1, PHMO2 oder PHMO12 vorhanden und als (im Fall von PHMO12 differentieller) Phasenschieber ausgeprägt, so ergibt sich im Fall sägezahnförmiger Steuersignale (Serrodynmodulation) dieselbe Situation wie bei
5 Frequenzverschiebern, im Fall sinusförmiger Steuersignale jedoch ein Besselspektrum wie im Fall sinusförmiger Frequenzmodulation FM, dessen Detektion bereits weiter oben betrachtet wurde.

30 Schließlich können durch Messung der Leistungen der Signale ED1, ED2 oder durch Ablesen des trotz Einregelung von PT verbleibenden Restanteils von L12 Signale gewonnen werden, welche zur Überprüfung und ggf. (langsamen) Nachregelung oder gezielten Vorverzerrung der sendeseitigen Polarisationsorthogonalität verwendet werden. Dies ermöglicht die Optimierung
35 des Übertragungssystems derart, daß beispielsweise polarisationsabhängige Dämpfung des Lichtwellenleiters nicht nur

nicht zu Nebensprechen führt, sondern auch zu keiner Benachteiligung eines der optischen Signale OS1, OS2 gegenüber dem anderen.

5 Auch können, z.B. durch Aufbringen weiterer Frequenzmodulation FM, z.B. mit einer von OM verschiedenen Frequenz, oder durch Auswertung von Reglersignalen, Informationen gewonnen werden, welche z.B. die adaptive Regelung eines Modulations-

10

Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung betreffen die Kombination mit Verfahren und Einrichtungen zur Kompensation von Polarisationsmodendispersion (PMD). Minimaler optischer Aufwand ergibt sich, wenn die Regelsignale für PMDC in Figur 4 oder PMDC1 und PMDC2 in Figur 7 aus den beiden elektrischen Empfangssignalen ED1 und ED2 abgeleitet werden. Dies erfolgt z.B. durch einfache elektrische Spektralanalyse; eine Abschwächung hochfrequenter Signalanteile deutet auf unkompen-

15

20

Dies kann vermieden werden, wenn vor Erreichen der polarisierenden Elemente PBS, PBS1, PBS2 ein optisches Signal abzweigt und detektiert wird. Aus diesem werden dann PMD-Verzerrungen analysiert und durch Einstellung von PMDC, PMDC1, PMDC2 minimiert. Zu diesem Zweck sind in Figuren 4 und 7 jeweils ein Koppler KPMDC, ein daran angeschlossener Photodetektor PDPMD, ein Verzerrungsanalysator DANA und ein Reg-

30

35

schon bekannt, beispielsweise aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 909 045 A2 und aus IEEE J. Lightwave Technology,

17(1999)9, S. 1602-1616; neu ist jedoch ihre Anwendung auf
Polarisationsmultiplexsignale.

Patentansprüche

1. Verfahren für die optische Informationsübertragung
zueinander orthogonal polarisierter optischer Signale (OS1,
5 OS2) mittels Polarisationsmultiplex, welche in einem Empfänger (RX) detektiert werden, dessen Eingang (EI) in einem Separator/Detektor (SD) mit einem von einem Regler (RG) gesteuerten Polarisationstransformator (PT), einem nachgeschalteten polarisierenden Element (PBS) und diesem nachgeschalteten
10 Photodetektoren (PD11, PD21) zur Erzeugung elektrischer detektierter Signale (ED1, ED2) verbunden ist,
dadurch gekennzeichnet,
daß im Empfänger (RX) in einer Detektor-Regler-Baugruppe (DR)
ein Interferenzsignal (FIO1, FIO2, FIO12) von einem Regler
15 (RG1, RG2, RG) ausgewertet wird und zum Einstellen eines Polarisationstransformators (PT1, PT2, PT) dient.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
20 daß ein elektrisches detektiertes Signal (ED1, ED2) durch ein Filter (LED1, LED2, LED12) gefiltert wird, daß dessen Ausgangssignal einem Detektor (DET1, DET2, DET12) zugeleitet wird, der wenigstens näherungsweise den Effektivwert, die mittlere Leistung oder den Spitzenwert bestimmt, daß ggf.
5 nach Tiefpaßfilterung eines Ausgangssignals eines solchen Detektors (DET1, DET2, DET12) ein Signal (L1, L2, L12) zur Verfügung steht, durch welches etwaige Interferenz der optischen Signale (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) angezeigt wird und das zur Vermeidung dieser In-
30 terferenz von einem Regler (RG1, RG2, RG), welcher einen Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT) ansteuert, minimiert wird, falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stärker werdender Interferenz zunimmt, oder maximiert wird, falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stärker werdender Interferenz abnimmt.

35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

daß im Separator/Detektor (SD) von getrennten Reglern (RG1, RG2) angesteuerte getrennte Polarisationstransformatoren (PT1, PT2) und nachgeschaltete getrennte polarisierendes Elemente (PBS1, PBS2) zum Empfang je eines der optischen Signale (OS1 oder OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) getrennte Filter (LED1, LED2), Detektoren (DET1, DET2) und ggf. Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) zur Erzeugung getrennter Signale (L1, L2) dienen, welche Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) im entsprechenden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigen und diesen getrennten Reglern (RG1, RG2) zugeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Separator/Detektor (SD) ein von einem gemeinsamen Regler (RG) angesteuerter Polarisationstransformator (PT) und ein nachgeschaltetes polarisierendes Element (PBS), welches als Polarisationsstrahlteiler wirken kann, zum Empfang der optischen Signale (OS1, OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) ein Subtrahierer (SUBED12) die Differenz ggf. durch getrennte Filter (LED1, LED2) gefilterter Anteile dieser elektrischen detektierten Signale (ED1, ED2) bildet, diese Differenz ggf. nach Filterung durch ein gemeinsames Filter (LED12) als ein Signal (FIO12) einem gemeinsamen Detektor (DET12) zur Erzeugung eines gemeinsamen Signals (L) dient, welches Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) in beiden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigt und diesem gemeinsamen Regler (RG) zugeführt wird.

30

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die sendeseitige Kohärenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) und ein Filter (LED1, LED2, LED12) der Detektor-Regler-Baugruppe (DR) derart aneinander angepaßt werden, daß Interferenzerscheinungen zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) we-

35

nigstens näherungsweise optimal detektiert werden, während Rauschen in hohem Maße unterdrückt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

5 dadurch gekennzeichnet,
daß sendeseitig eine Frequenzdifferenz (FD)
durch Verwendung zweier unterschiedlicher Lasersender (TX1,
TX2) für die optischen Signale (OS1, OS2),
oder bei sendeseitiger Verwendung eines gemeinsamen Lasersen-
10 ders (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf
zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2)
zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert
wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zu-
sammengeführt werden, durch einen Frequenzverschieber (PHMO1,
15 PHMO2) für eines der optischen Signale (OS1, OS2) oder einen
differentiellen Frequenzverschieber (PHMO12) dieser beiden
optischen Signale (OS1, OS2), wobei solche Frequenzverschie-
bung auch durch als Funktion der Zeit wenigstens stückweise
linear variable entsprechende Phasenverschiebung erzeugt wer-
20 den kann, erzeugt wird,
daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als
Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungs-
weise gleich dieser Frequenzdifferenz (FD) ausgebildet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,
daß durch sendeseitige Verwendung eines gemeinsamen Lasersen-
ders (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf
zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2)
30 zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert
wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zu-
sammengeführt werden,
eine differentielle Phasenmodulation (DPM) zwischen diesen
beiden optischen Signalen (OS1, OS2) erzeugt wird.
35

8. Verfahren nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungsweise gleich der Frequenz des spektralen Maximums dieser differentiellen Phasenmodulation (DPM) wirkt.

5

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß diese differentielle Phasenmodulation (DPM) wenigstens näherungsweise sinusförmig mit einer Modulationsfrequenz (OM) und einem Modulationshub (ETA) ausgeprägt ist.

10

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Aufteilung in einem Leistungsteiler (PMC) und Zusammenführung mit orthogonalen Polarisationen diese optischen Signale (OS1, OS2) eine Laufzeitdifferenz ($|DT1-DT2|$) erfahren.

15

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Sendelaser (LA) eine optische Frequenzmodulation (FM) erhält.

20

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Filter (LED1, LED2, LED12, LEDOMn ($n = 0, 1, 2, \dots$)) wenigstens ein geradzahliges und wenigstens ein ungeradzahliges Vielfaches ($n \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) passieren läßt, welche anschließend durch einen als Leistungs- oder Effektivwertmesser arbeitenden Detektor (DET1, DET2, DET12, DETOMn) detektiert werden, daß Leistungsanteile (PEVEN) nur der geradzahligen und Leistungsanteile (PODD) nur der ungeradzahligen Vielfachen ($n \cdot OM$) eine von einem statischen Differenzphasenwinkel (EPS) zwischen den optischen Signalen (OS1, OS2) unabhängige Summe (PEVEN+PODD) besitzen.

30

35

13. Verfahren nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,
daß einfache (OM) und doppelte ($2 \cdot OM$) Modulationsfrequenz
(OM) ausgewertet werden.

5 14. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß dieser Modulationshub (ETA) und Leistungsübertragungsfak-
toren (LOMn) dieser Vielfachen ($n \cdot OM$) so gewählt werden, daß
10 diese Summe (PEVEN+PODD) wenigstens in erster Näherung von
diesem Differenzphasenwinkel (EPS) und/oder Änderungen dieses
Modulationshubs (ETA) unabhängig ist.

15 15. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß einfache (OM), doppelte ($2 \cdot OM$) und dreifache ($3 \cdot OM$) Modu-
lationsfrequenz (OM) ausgewertet werden, daß die Quotienten
(LOM1/LOM2 bzw. LOM3/LOM2) der Leistungsübertragungsfaktoren
von einfacher (OM) zu doppelter ($2 \cdot OM$) und von dreifacher
20 ($3 \cdot OM$) zu doppelter ($2 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) wenig-
stens näherungsweise gleich 0,72852 bzw. 1,6036 sind, daß
dieser Modulationshub (ETA) wenigstens näherungsweise gleich
3.0542 Radiant beträgt.

16. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß lediglich höhere Vielfache als der Gleichanteil ($0 \cdot OM$)
und die Modulationsfrequenz (OM) ausgewertet werden.

17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 16,
30 dadurch gekennzeichnet,
daß doppelte ($2 \cdot OM$), dreifache ($3 \cdot OM$) und vierfache ($4 \cdot OM$)
Modulationsfrequenz (OM) ausgewertet werden, daß die Quotien-
ten (LOM2/LOM3 bzw. LOM4/LOM3) der Leistungsübertragungsfak-
toren von doppelter ($2 \cdot OM$) zu dreifacher ($3 \cdot OM$) und von vier-
35 facher ($4 \cdot OM$) zu dreifacher ($3 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM)
wenigstens näherungsweise gleich 0,64066 bzw. 1,3205 sind,

daß dieser Modulationshub (ETA) wenigstens näherungsweise gleich 4,2011 Radiant beträgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß verschiedene Vielfache ($n \cdot OM$) mittels getrennter Filter (LEDOMn) selektiert werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18,
10 dadurch gekennzeichnet,
daß verschiedene Vielfache ($n \cdot OM$) anschließend mit als Leistungsmessern arbeitenden Detektoren (DETOMn) detektiert werden, daß die Ausgangssignale dieser Detektoren (DETOMn) in einem Addierer (ADD) addiert werden.

15 20. Anordnung für die optische Informationsübertragung zueinander orthogonal polarisierter optischer Signale (OS1, OS2) mittels Polarisationsmultiplex, mit einem Empfänger (RX) zur Detektion dieser optischen Signale (OS1, OS2), dessen Eingang (EI) in einem Separator/Detektor (SD) mit einem von einem Regler (RG) gesteuerten Polarisationstransformator (PT), einem nachgeschalteten polarisierenden Element (PBS) und diesem nachgeschalteten Photodetektoren (PD11, PD21) zur Erzeugung elektrischer detektierter Signale (ED1, ED2) verbunden ist,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß im Empfänger (RX) eine Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung eines Interferenzsignals (FIO1, FIO2, FIO12) mittels eines Reglers (RG1, RG2, RG) und zum Einstellen eines Polarisationstransformators (PT1, PT2, PT) vorgesehen ist.

30 21. Anordnung nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Filter (LED1, LED2, LED12) vorgesehen ist, in welchem ein elektrisches detektiertes Signal (ED1, ED2) gefiltert
35 wird, daß ein Detektor (DET1, DET2, DET12) vorgesehen ist, der wenigstens näherungsweise den Effektivwert, die mittlere Leistung oder den Spitzenwert eines Ausgangssignals dieses

Filters (LED1, LED2, LED12) bestimmt, daß ggf. nach Tiefpaß-
filterung eines Ausgangssignals eines solchen Detektors
(DET1, DET2, DET12) ein Signal (L1, L2, L12) zur Verfügung
steht, durch welches etwaige Interferenz der optischen Signa-
le (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1,
ED2) angezeigt wird, daß zur Vermeidung dieser Interferenz
ein Regler (RG1, RG2, RG), welcher, falls dieses Signal (L1,
L2, L12) mit stärker werdender Interferenz zunimmt, dieses
minimiert, oder, falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stärker
werdender Interferenz abnimmt, dieses maximiert, und ein
von diesem angesteuerter Polarisationstransformator (PT1,
PT2, PT) vorgesehen sind.

22. Anordnung nach Anspruch 20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet,
daß im Separator/Detektor (SD) getrennte Regler (RG1, RG2),
von diesen angesteuerte getrennte Polarisationstransformato-
ren (PT1, PT2) und nachgeschaltete getrennte polarisierendes
Elemente (PBS1, PBS2) zum Empfang je eines der optischen Si-
gnale (OS1 oder OS2) vorhanden sind, daß in dieser Detektor-
Regler-Baugruppe (DR) getrennte Filter (LED1, LED2), Detekto-
ren (DET1, DET2) und ggf. Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) vorgese-
hen sind, daß dadurch getrennte Signale (L1, L2) vorhanden
sind, welche Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2)
im entsprechenden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2)
anzeigen, daß diese getrennten Regler (RG1, RG2) diese ge-
trennten Signale (L1, L2) als Eingangsgrößen besitzen.

23. Anordnung nach Anspruch 20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet,
daß im Separator/Detektor (SD) ein gemeinsamer Regler (RG),
ein von diesem Regler (RG) angesteuerter Polarisationstrans-
formator (PT) und ein nachgeschaltetes polarisierendes Ele-
ment (PBS), welches als Polarisationsstrahlteiler wirken
kann, vorgesehen sind und zum Empfang der optischen Signale
(OS1, OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-
Baugruppe (DR) ein Subtrahierer (SUBED12) vorgesehen ist, der

die Differenz ggf. durch getrennte Filter (LED1, LED2) gefilterter Anteile dieser elektrischen detektierten Signale (ED1, ED2) bildet, daß ein gemeinsamer Detektor (DET12) vorgesehen ist, welchem diese Differenz ggf. nach Filterung durch ein
5 gemeinsames Filter (LED12) als ein Signal (FIO12) zugeführt wird, daß dieser gemeinsame Detektor (DET12) zur Erzeugung eines gemeinsamen Signals (L) dient, welches Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) in beiden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigt und daß dieser gemeinsame
10 Regler (RG) dieses gemeinsame Signal (L) als Eingangsgröße besitzt.

24. Anordnung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet,
15 daß diese optischen Signale (OS1, OS2) eine sendeseitige Kohärenz besitzen, und daß ein Filter (LED1, LED2, LED12) der Detektor-Regler-Baugruppe (DR) derart ausgebildet ist, daß Interferenzerscheinungen zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) wenigstens näherungsweise optimal detektiert werden,
20 während Rauschen in hohem Maße unterdrückt wird.

25. Anordnung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß sendeseitig eine Frequenzdifferenz (FD) zwischen den optischen Signalen (OS1, OS2) vorgesehen ist, daß zu deren Erzeugung zwei unterschiedliche Lasersender (TX1, TX2) vorgesehen sind oder
daß zu deren Erzeugung ein gemeinsamer Lasersender (LA), dessen
30 Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2) zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt werden, vorgesehen ist sowie ein Frequenzverschieber (PHMO1, PHMO2) für eines der optischen Signale (OS1, OS2) oder ein
35 differentieller Frequenzverschieber (PHMO12) dieser beiden optischen Signale (OS1, OS2), wobei solche Frequenzverschie-

bung auch durch als Funktion der Zeit wenigstens stückweise linear variable entsprechende Phasenverschiebung erzeugt werden kann,

- 5 daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungsweise gleich dieser Frequenzdifferenz (FD) ausgebildet ist.

26. Anordnung nach Anspruch 24,
dadurch gekennzeichnet,

- 10 daß sendeseitig ein gemeinsamer Lasersender (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2) zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt
15 werden, vorgesehen ist,
daß eine differentielle Phasenmodulation (DPM) vorgesehen ist, welche zwischen diesen beiden optischen Signalen (OS1, OS2) erzeugt wird.

- 20 27. Anordnung nach Anspruch 26,
dadurch gekennzeichnet,
daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungsweise gleich der Frequenz des spektralen Maximums dieser differentiellen Phasenmodulation (DPM) ausgebildet ist.

28. Anordnung nach Anspruch 26 oder 27,
dadurch gekennzeichnet,
daß diese differentielle Phasenmodulation (DPM) wenigstens
30 näherungsweise sinusförmig mit einer Modulationsfrequenz (OM) und einem Modulationshub (ETA) ausgeprägt ist.

29. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 28,
dadurch gekennzeichnet,
35 daß eine Laufzeitdifferenz ($|DT1-DT2|$) vorgesehen ist zwischen Aufteilung in einem Leistungsteiler (PMC) und Zusammen-

führung mit orthogonalen Polarisationen diese optischen Signale (OS1, OS2).

30. Anordnung nach Anspruch 29,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß eine optische Frequenzmodulation (FM) vorgesehen ist, die dieser Sendelaser (LA) erhält.

31. Anordnung nach einem der Ansprüche 26 bis 30,
10 dadurch gekennzeichnet,
daß dieses Filter (LED1, LED2, LED12, LEDOMn ($n = 0, 1, 2, \dots$)) wenigstens ein geradzahliges und wenigstens ein ungeradzahliges Vielfaches ($n \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) passieren läßt, welche anschließend durch einen als Leistungs-
15 oder Effektivwertmesser arbeitenden Detektor (DET1, DET2, DET12, DETOMn) detektiert werden, daß Leistungsanteile (PEVEN) nur der geradzahligen und Leistungsanteile (PODD) nur der ungeradzahligen Vielfachen ($n \cdot OM$) eine von einem statischen Differenzphasenwinkel (EPS) zwischen den optischen Si-
20 gnalen (OS1, OS2) unabhängige Summe (PEVEN+PODD) besitzen.

32. Anordnung nach Anspruch 31,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung von einfacher (OM) und doppelter ($2 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) ausgebildet sind.

33. Anordnung nach Anspruch 31,
dadurch gekennzeichnet,
30 daß diese Summe (PEVEN+PODD) durch Wahl dieses Modulationshubs (ETA) und der Leistungsübertragungsfaktoren (LOMn) dieser Vielfachen ($n \cdot OM$) wenigstens in erster Näherung von diesem Differenzphasenwinkel (EPS) und/oder Änderungen dieses Modulationshubs (ETA) unabhängig ausgebildet ist.

34. Anordnung nach Anspruch 33,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung von einfacher (OM), doppelter ($2 \cdot OM$) und dreifacher ($3 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) ausgebildet ist, daß die Quotienten (LOM1/LOM2 bzw. LOM3/LOM2) der Leistungsübertragungsfaktoren von einfacher (OM) zu doppelter ($2 \cdot OM$) und von dreifacher ($3 \cdot OM$) zu doppelter ($2 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) wenigstens näherungsweise gleich 0,72852 bzw. 1,6036 sind, daß dieser Modulationshub (ETA) wenigstens näherungsweise gleich 3.0542 Radiant beträgt.

35. Anordnung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung lediglich höherer Vielfacher als Gleichanteil ($0 \cdot OM$) und Modulationsfrequenz (OM) ausgebildet ist.

36. Anordnung nach Anspruch 33 oder 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung von doppelter ($2 \cdot OM$), dreifacher ($3 \cdot OM$) und vierfacher ($4 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) ausgebildet ist, daß die Quotienten (LOM2/LOM3 bzw. LOM4/LOM3) der Leistungsübertragungsfaktoren von doppelter ($2 \cdot OM$) zu dreifacher ($3 \cdot OM$) und von vierfacher ($4 \cdot OM$) zu dreifacher ($3 \cdot OM$) Modulationsfrequenz (OM) wenigstens näherungsweise gleich 0,64066 bzw. 1,3205 sind, daß dieser Modulationshub (ETA) wenigstens näherungsweise gleich 4,2011 Radiant beträgt.

37. Anordnung nach einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß getrennte Filter (LEDOMn) vorgesehen sind, in welchen verschiedene Vielfache ($n \cdot OM$) selektiert werden.

38. Anordnung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß als Leistungsmesser arbeitende Detektoren (DETOMn) vorgesehen sind, in welchen diese Vielfachen ($n \cdot OM$) anschließend

detektiert werden, daß ein Addierer (ADD) vorgesehen ist, in welchem die Ausgangssignale dieser Detektoren (DETOMn) addiert werden.

Zusammenfassung

Verfahren und Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex

5

Ein Empfänger für optische Signale (OS1, OS2) mit Polarisationsmultiplex enthält Bandpaßfilter (LED1, LED2), Effektivwertdetektoren (DET1, DET2), Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) und
10 Regler (RG1, RG2) zur Einregelung von Polarisationstransformatoren in einem Separator/Detektor (SD) derart, daß Interferenzerscheinungen in den elektrischen detektierten Signalen (ED1, ED2) zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2),
welche sendeseitig durch Frequenzmodulation eines Lasers,
15 Aufteilung mit anschließender Intensitätsmodulation jedes dieser optischen Signale (OS1, OS2) und Zusammenführung mit orthogonalen Polarisationen und Laufzeitdifferenz randomisiert werden, minimiert werden.

20 Figur 3

Bezugszeichenliste

	LA	Laser, Sendelaser, Lasersender
	FM	Frequenzmodulation
5	PMC	Koppler, polarisationserhaltender Koppler
	MO1, MO2	Modulatoren
	SDD1, SDD2	Modulationssignale
	OS1, OS2	Optische Teilsignale
	PHMO1, PHMO2	Phasenmodulator
10	PBSS	Sendeseitiger Polarisationsstrahlteiler
	PHMO12	Differentieller Phasenmodulator
	DPM	Differentielle Phasenmodulation
	FD	Frequenzdifferenz
	DT1, DT2	Laufzeiten
15	DT1-DT2	Laufzeitdifferenz, genauer gesagt: Betrag der Laufzeitdifferenz
	TX1, TX2	Optische Sender, Sendelaser
	LWL	Lichtwellenleiter
	RX	Empfänger
20	EI	Eingang des Empfängers
	SD	Separator/Detektor
	SPi	Regelsignale für PMD-Kompensator(en)
	RPi, RP	Regler für PMD-Kompensator(en)
	ST1, ST2	Steuersignale für Polarisationstransformator(en)
	RG1, RG2, RG	Regler für Polarisationstransformator(en)
	ED1, ED2	Elektrische detektierte Signale
	D1, D2	Entscheider einschließlich Taktrückgewinnung, Regenerator
30	DR	Detektor-Regler-Einheit
	LED1, LED2, LED12	Tiefpaßfilter
	FIO1, FIO2, FIO12	Tiefpaßgefilterte Signale
	SUBED12	Subtrahierer
	DET1, DET2, DET12	Detektor, Leistungsmesser, Effektivwertmesser
35	LPF1, LPF2, LPF12	Tiefpaßfilter
	L1, L2, L12	Reglereingangssignale, welche Interferenz

		anzeigen
	CLi	Taktsignale
	DDMi	Demultiplexer/Entscheider
	DDij	Ausgangssignale von Demultiple-
5		xer/Entscheidern
	DMi	analoge Demultiplexer
	Dij	analoge Ausgangssignale von Demultiple-
		xern
	Kij	Korrelatoren
10	KPij	Korrelationsprodukte
	Lij	Tiefpaßfilter
	PD11, PD21	Photodioden
	PBS	Polarisierendes Element,
		Polarisationsstrahlteiler,
15	PBS1, PBS2	Polarisierende Elemente, Polarisatoren
	PT, PT1, PT2	Polarisationstransformatoren
	PMDC, PMDC1, PMDC2	Kompensatoren von
		Polarisationsmodendispersion
	SUB, SUB1, SUB2	Substrat, Lithiumniobatsubstrat
20	OUT1, OUT2	Optische Signale hinter polarisierenden
		Elementen
	TE	Leistungsteiler
	SUB, SUBi	Substrate
	x, y	Koordinaten für horizontale/vertikale Po-
		larisation
	FE1, FE2, FE12	Filtereinheit
	OM	Modulationsfrequenz
	n*OM (n = 0, 1, 2, ...)	Vielfache der Modulationsfrequenz)
	LOMn	Leistungsübertragungsfaktoren
30	LEDOMn	Filter für Frequenz n*OM
	DETOMn	Detektor, Leistungsmesser
	Gn	Gewichte
	ADD	Addierer
	ED1-ED2	Differenz zwischen ED1 und ED2
35	SE	Subtrahiereinheit
	PEVEN	detektierte oder detektierbare Leistung
		nur geradzahlgiger Vielfacher von OM

PODD	detektierte oder detektierbare Leistung
PEVEN+PODD	nur ungeradzahlicher Vielfacher von OM
KPMDC	Summe von PEVEN und PODD
5 PDPMD	Koppler für PMD-Kompensator
DANA	Photodetektor für PMD-Kompensator
RPMDC	PMD-Verzerrungsanalysator
	Regler für PMD-Kompensator

Figure 1

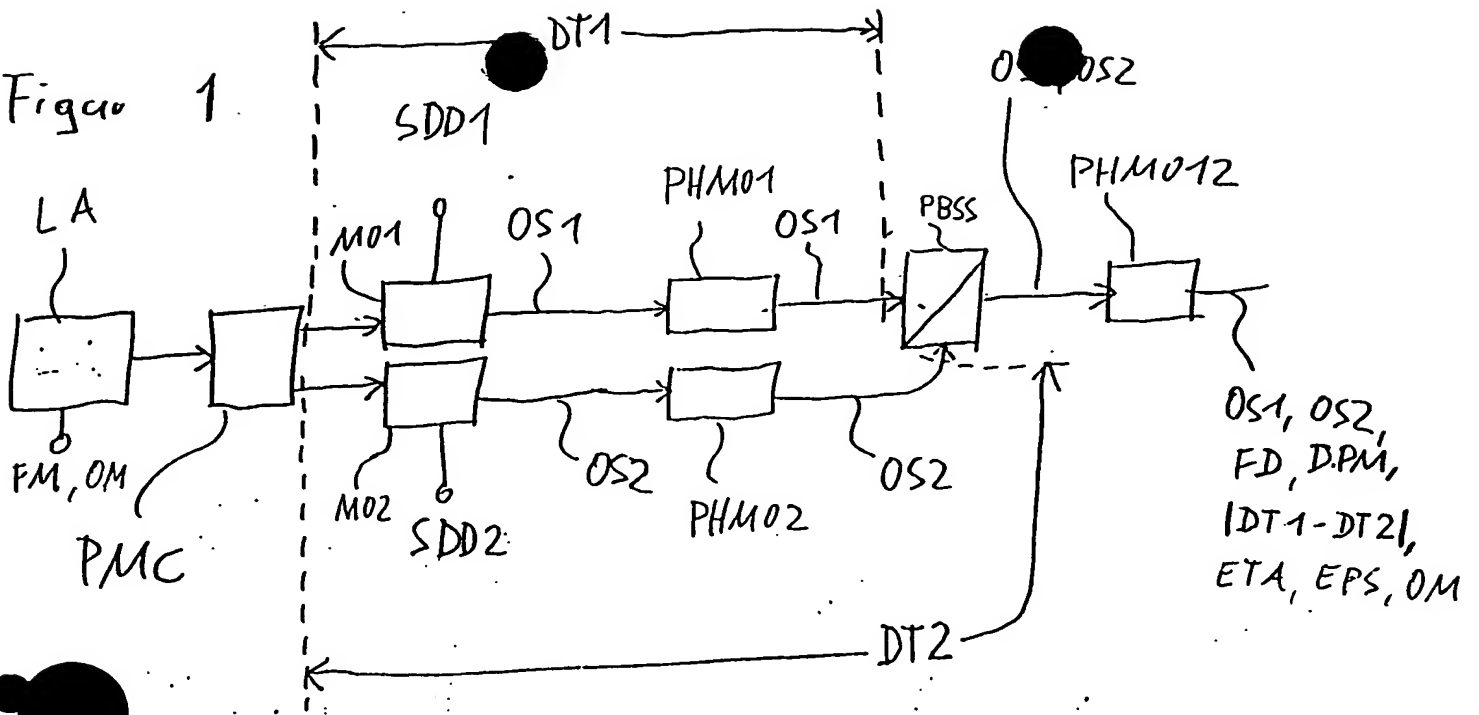


FIG 2

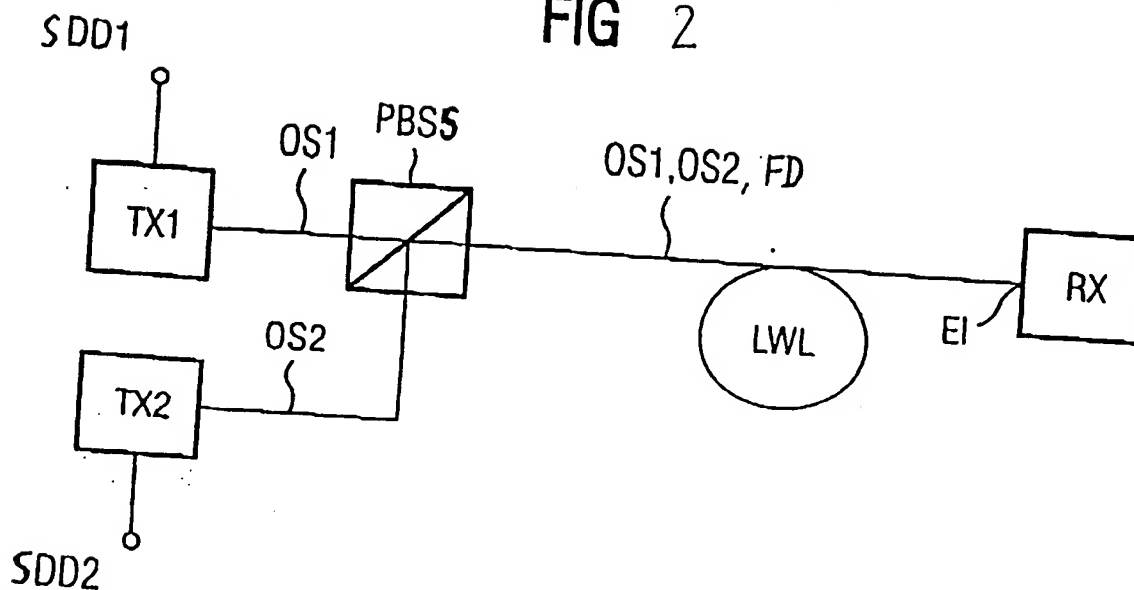
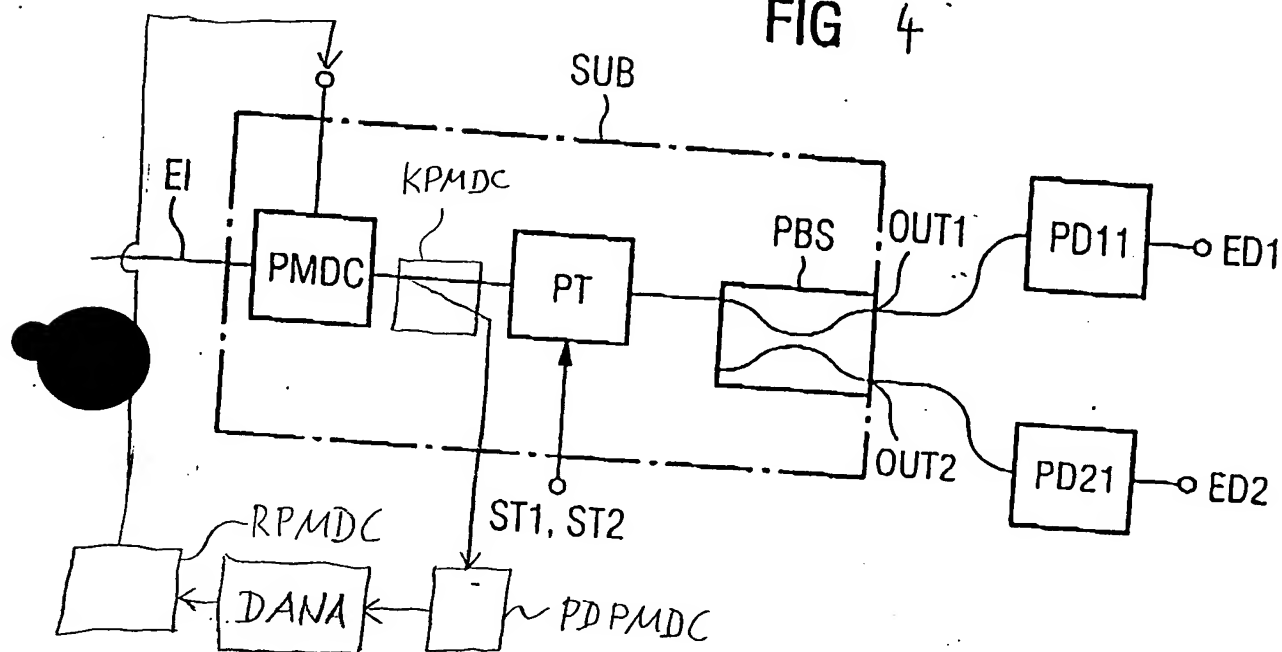
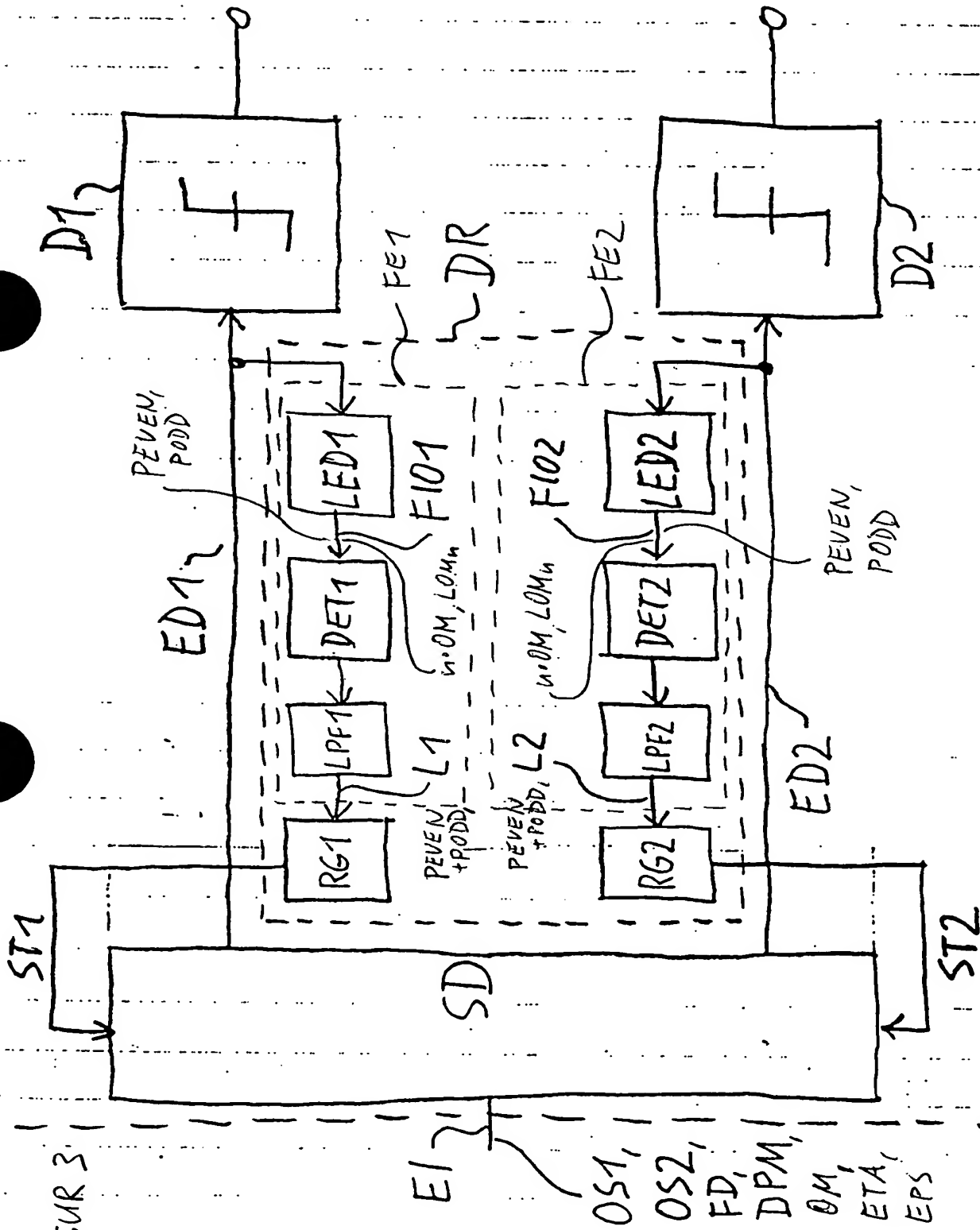


FIG 4



FIGUR 3

RX



FIGUR 5

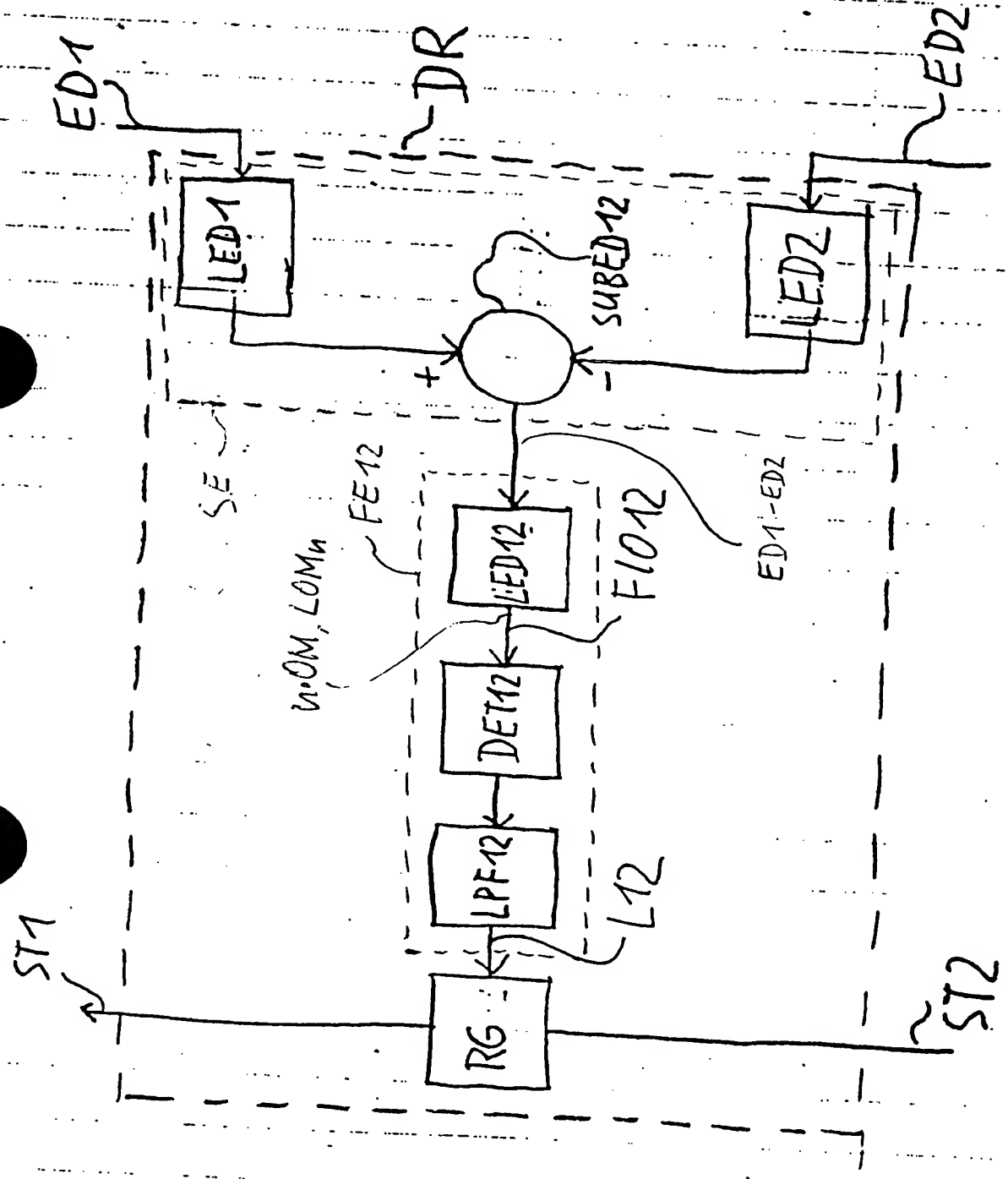


FIG 6

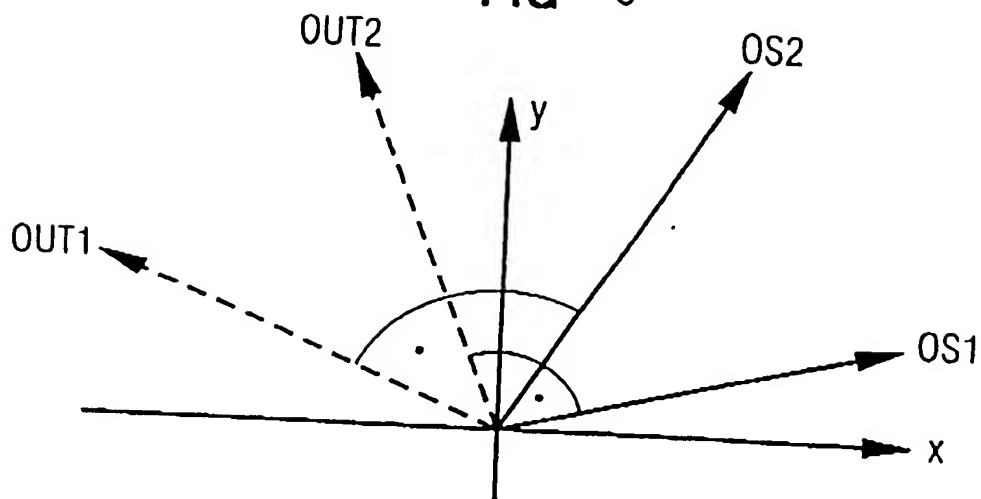
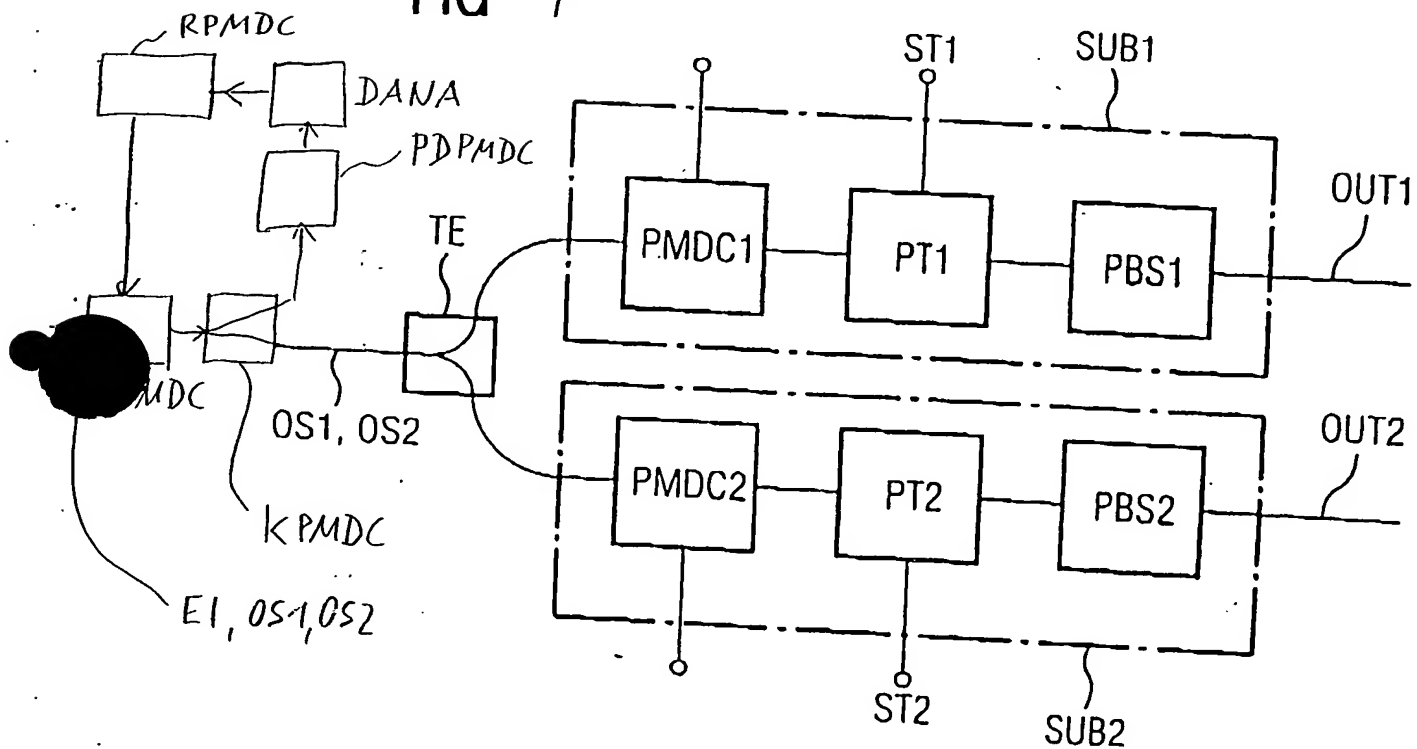
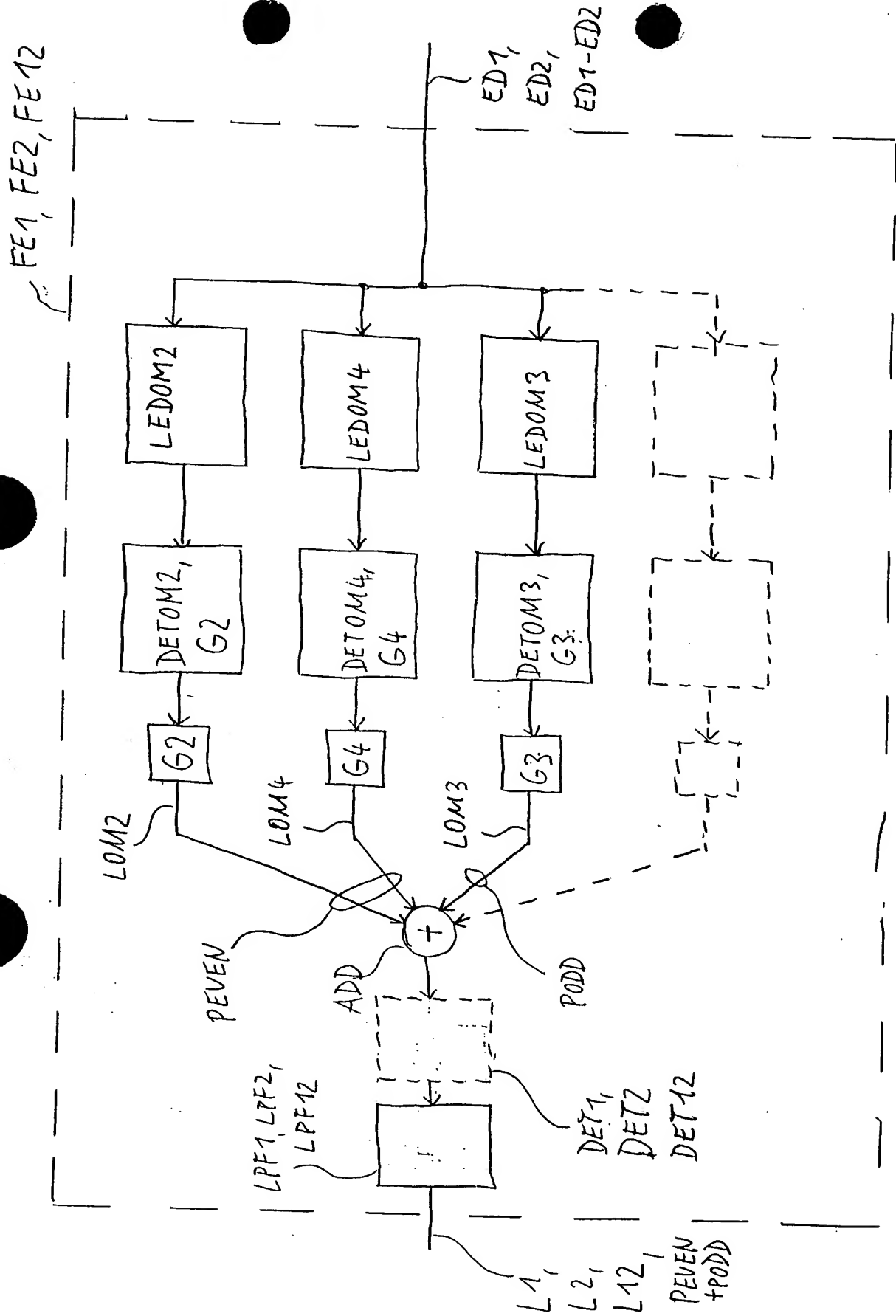


FIG 7





FIGUR 8